

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-173984

(P2000-173984A)

(43) 公開日 平成12年6月23日 (2000.6.23)

(51) Int.Cl.⁷
 H 01 L 21/3065
 C 23 F 4/00

識別記号

F I
 H 01 L 21/302
 C 23 F 4/00

テマコード⁸ (参考)
 B 4 K 0 5 7
 A 5 F 0 0 4

審査請求 未請求 請求項の数22 OL (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平10-341366
 (22) 出願日 平成10年12月1日 (1998.12.1)

(71) 出願人 000005108
 株式会社日立製作所
 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
 (72) 発明者 三谷 克彦
 山口県下松市大学東豊井794番地 株式会
 社日立製作所笠戸工場内
 (74) 代理人 100068504
 弁理士 小川 勝男
 F ターム (参考) 4K057 DA11 DA20 DE06 DE14 DE20
 DM40 DN01
 5F004 AA00 AA01 CB20 DA00 DA23
 DA26 DB03

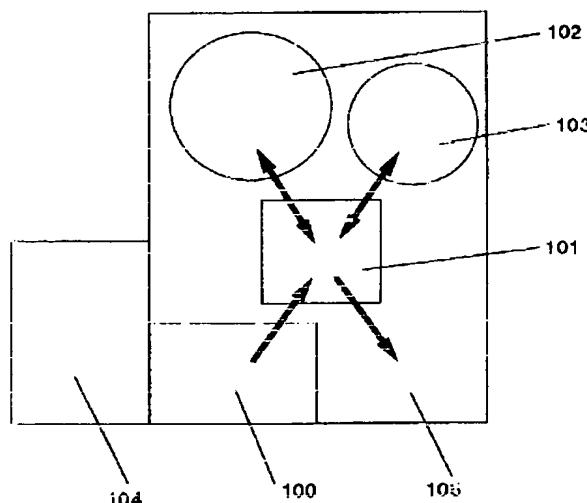
(54) 【発明の名称】 エッチング装置及びエッチング方法

(57) 【要約】

【課題】 高度なエッチングプロセス性能を高め留まりで安定して実現する。

【解決手段】 エッチング処理室102及び試料表面の評価室103が具備され、ロボット搬送により前記エッチング処理室102と評価室103間を試料の受け渡しする機能を有するエッチング装置を用いて、エッチング処理後の試料のプロファイル計測結果に基づいて、後続の試料に適用するプロセス条件の補正、フィードバック制御を行う。

図1



(2) 000-173984 (P2000-173984A)

【特許請求の範囲】

【請求項1】プラズマエッティングを行うための処理室と、該処理室とバッファ室を介して設置された試料表面の評価室を具備し、自動ロボット搬送による前記処理室と前記評価室との間の試料の受け渡し機能を有することを特徴とするエッティング装置。

【請求項2】プラズマエッティングを行うための第1の処理室内或いは第2の処理室の少なくとも1個所以上、或いはバッファ室内に試料表面の評価系を具備したことを特徴とするエッティング装置。

【請求項3】請求項1および2記載の前記試料表面の評価室または評価系において、非接触で試料表面のプロファイル計測を行うエッティング装置。

【請求項4】請求項3記載の前記非接触での試料表面のプロファイル計測において、被測定試料を含む平面上を走査可能なセンサヘッドを用いて所望の箇所の表面プロファイルを計測するエッティング装置。

【請求項5】請求項3および4記載の前記非接触での試料表面のプロファイル計測は、原子間力顕微鏡、走査型トンネル顕微鏡またはレーザー顕微鏡の内の少なくとも1手段以上からなるエッティング装置。

【請求項6】請求項1記載の前記バッファ室の容積が1～2リットル以下で有り、且つ該バッファ室へのバージガスの導入口と排気口が対向しており、ガス流れが淀みなく排気可能なエッティング装置。

【請求項7】請求項1および2記載のエッティング装置を用い、前記評価室或いは評価系において、被処理試料の所望箇所の表面プロファイルを計測し記録するステップと、該試料を処理室に搬送しプラズマエッティングを行うステップと、該試料をバッファ室を介して評価室に搬送し前記所望箇所の表面を再び計測し記録するステップとを含むことを特徴とするエッティング方法。

【請求項8】請求項1のエッティング装置を用い、前記プラズマエッティングを行った試料をバッファ室内に設置した状態で、不活性ガスまたは窒素ガスのバージと高真空排気とを1回または複数回繰返した後に、前記評価室に搬送して所望箇所の表面を計測し記録することを特徴とするエッティング方法。

【請求項9】請求項7記載の前記被処理試料の表面プロファイルの計測を1バッチの全試料に対して、或いは複数枚毎に行うエッティング方法。

【請求項10】請求項7記載の前記プラズマエッティングを行うステップの前後における表面プロファイルの計測結果の差に基づいて、所望のエッティング処理が完了したか否かの判断をし記録するエッティング方法。

【請求項11】請求項7記載の前記プラズマエッティング後の試料の表面プロファイルの計測結果に基づいて、所望のエッティング処理が完了したか否かの判断をし記録するエッティング方法。

【請求項12】請求項11記載の前記プラズマエッキン

グ後の試料の表面プロファイルの計測結果が、試料表面に具備されたパターン寸法の異なるパターンのエッティング深さの計測に基づくエッティング方法。

【請求項13】請求項11記載の前記プラズマエッティング後の試料の表面プロファイルの計測結果が、試料表面に具備された間隔の異なる粗密パターンのプロファイル計測に基づくエッティング方法。

【請求項14】請求項12および13記載の前記プラズマエッティング後の試料の表面プロファイルの計測結果が、試料の中央部及び周辺部における計測に基づくエッティング方法。

【請求項15】請求項10記載の前記所望のエッティング処理が完了したか否かの判断が、プラズマエッティングを行うステップの前後における表面プロファイルの計測結果の差またはプラズマエッティング後の試料の表面プロファイルの計測結果が第1の許容範囲内であれば処理は正常と判断し試料の処理を引き続き行い、前記計測結果が第1の許容範囲を超えて且つ第2の許容範囲に入れば第1の警告を発し試料の処理を引き続き行い、前記計測結果の差が第2の許容範囲を超えた時点で第2の警告を発し後続試料の処理を中断するエッティング方法。

【請求項16】請求項15記載の前記プラズマエッティングを行うステップの前後における表面プロファイルの計測結果の差またはプラズマエッティング後の試料の表面プロファイルの計測結果が、第1の許容範囲を超えて且つ第2の許容範囲に入っている場合、第1の警告を発すると共に後続の試料の処理条件に対して補正をかけるエッティング方法。

【請求項17】請求項16記載の前記後続の試料の処理条件に対する補正方法が、エッティング処理時間の加減であるエッティング方法。

【請求項18】請求項16記載の前記後続の試料の処理条件に対する補正方法が、プラズマ放電の電力の加減であるエッティング方法。

【請求項19】請求項16記載の前記後続の試料の処理条件に対する補正方法が、試料に印加するバイアス電力の加減であるエッティング方法。

【請求項20】請求項16記載の前記後続の試料の処理条件に対する補正方法が、プロセスガスの流量(比)または圧力加減であるエッティング方法。

【請求項21】請求項16記載の前記プラズマエッティングを行うステップの前後における表面プロファイルの計測結果の差またはプラズマエッティング後の試料の表面プロファイルの計測結果が、前記計測結果が第1の許容範囲を超えて且つ第2の許容範囲に入っている場合、前記後続の試料の処理条件に対して事前に複数種の補正を行い、該補正の効果をコンピュータを用いた統計的手法により最適化した補正方法によって後続の試料を処理するエッティング方法。

【請求項22】請求項16記載の前記プラズマエッキン

:(3) 000-173984 (P2000-173984A)

グを行うステップの前後における表面プロファイルの計測結果の差またはプラズマエッティング後の試料の表面プロファイルの計測結果が、前記計測結果が第1の許容範囲を超えて且つ第2の許容範囲に入っている場合、前記後続の試料の処理条件に対して事前に複数種の補正及び該補正の効果をニューラルネットワークを用いて学習し最適化した補正方法によって後続の試料を処理するエッティング方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はエッティング装置及びエッティング方法に係り、特に高度なプロセス性能が要求される工程において、プロセス性能を高歩留まりで実現するのに好適なエッティング装置及びエッティング方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】エッティング工程において所望のプロセス性能を得るためにには、通常、事前に複数のプロセス条件をパラメータにした確認実験を行い、最適と思えるプロセス条件を決定し、エッティング装置にレシピとして登録する。生産ラインでは、各工程毎にレシピを使い分けてエッティング処理を行う。このときのエッティング性能は、事前に条件出しを行ったときと全く同一であることが理想的であるが、エッティング処理室の内壁状態、雰囲気の経時的な変化等によりエッティング速度も増減する。近年のLSIの高集積化に伴い、加工寸法の微細化、及び高アスペクト比化に対応できるプロセス性能が要求されている。該プロセス性能を安定して達成させる手段として、例えば、特開平8-138887号公報に記載されているように、エッティング中にチャンバ内に設置したアバーチャーを通過する電流値等をプラズマ計測技術を用いてモニタリングして、放電電力、ガス流量等にフィードバック制御する技術が提案されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】上述した従来例では、プラズマ計測の結果に基づいてプロセス条件にフィードバックをかけている。この場合、試料面内の平均的なエッティング速度のようにマクロなプロセス特性に対してはある程度の相関が見い出しが可能であるが、微細なコンタクト孔のエッティングなどのミクロな領域におけるプロセス性能に対して、フィードバック制御することは困難である。前記公報に記載の従来技術では、コンタクト孔を模擬したアバーチャーを採用しているが、実際の試料のエッティングでは反応生成物の試料への再入射や孔側面でのスパッタリングが起こっており、これらがミクロなプロセス特性に影響を与える。従って、前記公報に記載の従来技術におけるプラズマ計測からの情報は、実際のミクロな領域でのエッティング状態の把握には役立たない場合が多い。

【0004】本発明の目的は、高度なエッティングプロセ

ス性能を高歩留まりで安定して実現することが可能なエッティング装置及びエッティング方法を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的は、複数のウエハに対して連続して同一のエッティング工程の処理を施す際に、1枚毎或いは複数枚毎にエッティング後の実際のプロファイルを評価し、その結果が所望なものとなるよう、後続の試料に適用するプロセス条件に対してフィードバック制御を行い、この過程を繰り返し、コンピュータに記憶、学習させることにより、達成される。これにより、高度なプロセス性能を高歩留まりで実現することが可能になる。また、プラズマエッティングを行うための処理室、及び該処理室とバッファ室を介して設置された試料表面の評価室が具備されており、自動ロボット搬送により前記処理室と評価室の間を試料の受け渡しすることにより、達成される。

【0006】

【発明の実施の形態】本発明では、連続して同一のエッティング工程の処理を施す際に、エッティング処理室でプラズマエッティングした試料を引き続き、自動ロボット搬送によりバッファ室を経由して試料表面の評価室に搬送し、実際のプロファイルを評価する。該プロファイルの評価結果が所望のプロファイルの許容範囲を外れた場合、後続の試料に適用するプロセス条件に対して、補正及びフィードバック制御を行う。このように所望とするプロセス性能を1枚毎或いは複数枚毎に直接モニタリングしてフィードバック制御するので、信頼性の高いエッティング処理ができる。また、インラインで膨大なプロセス評価データを蓄積し、コンピュータによりフィードバックの効果を学習させることで、一層のプロセス高度化、経時変化への対応が可能になる。万一、予期できないプロセス性能の変動が生じた場合にも、インラインでの評価により不具合を早期に発見することが可能であり、高い歩留まりで所望のプロセス性能を達成できる。以下、本発明の実施例を説明する。

【0007】【実施例1】本発明の一実施例を図1に示すエッティング装置構成図を用いて説明する。ロード室100より試料を投入、真空排気した後、試料をロボット搬送によりバッファ室101を経由してエッティング処理室102に載置し、所定のプロセス条件を用いてエッティング処理を施す。次に、バッファ室101を経由して試料の表面プロファイルの評価室103に試料をロボット搬送し、原子間力顕微鏡(AFM)を用いて表面プロファイルの計測を行う。表面プロファイルの計測は、図2に示すようにセンサ部200が試料201の全域を含むセンサ部の可動領域202内の所望の測定箇所においてAFMによる表面プロファイル計測を行う。測定箇所を速やかに同定するために、光学式モニタによるパターン認識を併用することが有効である。図3にエッティング処

(4) 000-173984 (P2000-173984A)

理後の試料断面とプロファイル計測結果の例を示す。試料は図3 (a) に示すように、基板300上において第1の絶縁膜301が、予めパターン形成された第2の絶縁膜マスク302を用いてエッチングされている。第1の絶縁膜301のエッチングが完全に終了した場合の計測プロファイルは、図3 (b) に示すように、第1の絶縁膜301の膜厚と第2の絶縁膜マスク302の膜厚の合計に相当する凹プロファイルが得られる。しかしながら、装置の状態、特にエッチング処理室102内の雰囲気の変動に因り、第1の絶縁膜301のエッチング速度が低下したり、途中でエッチングが進行しなくなる現象が起きることがある。この時の計測プロファイルは、図3 (c) に示すように、図3 (b) に比べて凹プロファイルが浅くなるので、容易にチェックできる。このような状態に至った場合、アラームを発すると共に、後続の試料に対するプロセス条件に補正をかけて、図3 (b) に示す理想的なプロファイルが得られるようにフィードバック制御を行う。補正の手段として、例えば、C₄F₈ / Ar / O₂系によりSiO₂膜をエッチングする場合には、O₂の流量、放電パワー、試料へのバイアスパワー等を増やすことにより、エッチング速度の低下を防ぐことができる。各々の効果については、上述したモニタリングとフィードバック制御のデータに基づき制御用コンピュータ104を用いた統計的手法により最適化した手法を選択できる。また、モニタリングした計測したプロファイルが、理想的なプロファイルと比較して所定のレベル以上にかけ離れた場合は、装置の異常と判断して、アラームを発すると共に、後続の試料の処理を中断する。これにより、予期せぬ装置トラブルにより、貴重な試料を多量に無駄にすることはない。プロファイル計測の完了した試料はバッファ室101を経由して、アンドロード室105に移される。上述した表面プロファイル計測は全試料に対して行えば確実であるが、プロセス性能の経時変化は緩やかに起きるので、複数枚毎に（例えば3～5枚間隔で）行えば十分である。その場合、1枚の試料に対するプロファイル計測時間が、試料を2～4枚のエッチング処理する時間より短時間であれば、基本的にはスループットに影響を与えない。従って、全試料に対してプロファイル計測を行う場合より、試料の面内で中央部、周辺部を含めて測定点を増やすことによりエッチング性能の面内分布に関する詳細な計測を行うことが可能になる。

【0008】本実施例によれば、エッチングプロファイルを直接モニターしながら、フィードバック制御を行っているので、高度なプロセス性能を高歩留まりで実現することができる。また、インラインでフィードバック制御しているので、不具合が発生しても速やかな復旧が可能であり、ロット単位で不良を作り込むことは無い。

【0009】本実施例では、モニタリングとフィードバック制御のデータに基づきコンピュータを用いた統計的

手法によりプロセス条件の補正方法を最適化しているが、複数種の補正及び該補正の効果をニューラルネットワークを用いて学習、最適化した補正方法によっても最適化できる。

【0010】また、本実施例では第1の絶縁膜301のエッチングが完全に終了した場合のプロファイル計測をオンラインでモニターしているが、プロセス条件の最適化を目的として、第1の絶縁膜301をエッチングが完了する前にエッチングを止めて、プロファイル計測を行うことにより、エッチング速度の最適化或いはエッチング速度の試料面内均一性の向上に適したプロセス条件の最適化を行うことも可能である。

【0011】また、本実施例では、原子間力顕微鏡（AFM）を用いてプロファイル計測しており、微細なSi或いは金属等のチップをプローブとして採用している。そのため、エッチング処理後の試料を処理室102からバッファ室101を経由して評価室103に移すときに該試料表面にエッチングガスが残留していると上記プローブが腐食する。該腐食を防ぐために、バッファ室101の容積を1～2リットル以下にしており、試料を評価室103に移す前に、不活性ガスによるバージと高真空排気を繰り返すことで残留ガスを短時間で排除できる。また、図4に示すようにバッファ室400の形状は試料401の形状に合わせて容積を小さくしており、試料の出入口402の他に、バージガス導入口403と排気口404が対向して具備されており、ガス流れに淀みがなく排気することを可能にしている。

【0012】また、本実施例では、第2の絶縁膜マスク302の膜厚を含んで、プロファイル計測を行っているが、第1の絶縁膜301のエッチング深さを凹プロファイルから厳密にモニタするためには、エッチング処理を行う前に、第2の絶縁膜マスク302の膜厚を評価室103で計測しておくことが有効である。

【0013】また、上述した実施例では原子間力顕微鏡（AFM）を用いて、プロファイルを計測しているが、他の計測手段、例えば走査型トンネル顕微鏡、走査型電子顕微鏡、レーザ顕微鏡等も適用できる、使い勝手に応じて組み合わせることも有効である。原子間力顕微鏡及びレーザ顕微鏡の場合は大気中での計測が可能であることは言うまでも無い。

【0014】また、エッチングの対象となる材料も上述した絶縁膜に限らず、配線用の金属、基板結晶等の他の材料のエッチングに対しても本発明が有効であることは言うまでも無い。

【0015】〔実施例2〕本発明の第2の実施例を図5によって説明する。図5はエッチング装置の構成図を示す。ロード室500より試料を投入、真空排気した後、該試料をロボット搬送によりバッファ室501を経由してエッチング処理室502に載置し、所定のプロセス条件を用いてエッチング処理を施す。次に、前記試料をバ

(5) 000-173984 (P2000-173984A)

バッファ室501を経由してアッシング処理室503に移し、エッチング処理にマスクとして用いたレジストを除去する。引き続き、バッファ室501を経由して表面プロファイルの評価室504に前記試料をロボット搬送し、原子間力顯微鏡（AFM）を用いて表面プロファイルの計測を行う。図6にエッチング処理後の試料断面とプロファイル計測結果の例を示す。601のエッチングが完全に終了した場合の計測プロファイルは、図6（b）に示すように、第1の絶縁膜601の膜厚に相当する凹プロファイルが得られる。しかしながら、装置の状態、特にエッチング処理室502内の雰囲気の変動により第1の絶縁膜601のエッチング速度が低下したり、途中でエッチングが進行しなくなる現象が起きることが危惧される。この時の計測プロファイルは、図6（c）に示すように、図6（b）に比べて凹プロファイルが浅くなるので、容易にチェックできる。このような状態に至った場合、制御用コンピュータ505を用いて、アラームを発すると共に、後続の試料に対するプロセス条件に補正をかけて、図6（b）に示す理想的なプロファイルが得られるようにフィードバック制御を行う。プロファイル計測を終えた試料はバッファ室501を介してアンロード室506に搬送される。

【0016】本実施例によれば、エッチングプロファイルを直接モニターしながら、フィードバック制御を行っているので、高度なプロセス性能を高歩留まりで実現することができる。

【0017】また、LSIの高集積化、素子の微細化に伴い、エッチング加工寸法として0.25μm前後のレベルが要求されている。AFMの分解能は原子レベルのオーダーであるが、高アスペクト比のコンタクト孔底面のプロファイルの計測にプローブの形状、大きさが障害となる場合がある。このような場合、図7（a）に示すような、基板700上の第1の絶縁膜に穿たれた寸法の異なるコンタクト孔のプロファイル計測を行う。図7（b）に示すプロファイル計測の結果から、各孔の中心部の深さは、プローブの形状、大きさの影響を受け難いので正確に評価できる。図7（c）に示すコンタクト孔の中心部深さの孔径依存性から、微細なコンタクト孔の加工に適したプロセス条件でエッチングされているか否かの判断が行える。一般に、コンタクト孔径の微細化に伴いエッチング量が減少する。これはマイクロローディング効果と呼ばれる。もちろん、図7（c）中の（i）に示すようなマイクロローディング効果が現れるコンタクト径の小さいプロセス条件を適用することが好ましい。プロファイル計測結果から図7（c）中の（ii）に示すようにマイクロローディング効果が顕著な場合、後続の試料に対して、プロセス条件を補正する。これらの判断は制御用コンピュータにデータを蓄積、学習させることにより瞬時に行うことが可能である。上記寸法の異なるコンタクト孔をTEG（test element group）と

して試料に形成することにより、マイクロローディング効果の評価を速やかに行うことができる。

【0018】また、図8（a）に示すように基板800上に孤立パターン801と密パターン802が混在して形成する場合、孤立パターン801の側面が順テーパ形状になり、密パターン802よりパターン寸法が大きくなる場合がある。孤立パターン801側面の順テーパ形状は、図8（b）に示すように、AFMにより正確にプロファイル計測できる。該順テーパ形状に対しても許容範囲を設けて、図8（c）に示すように孤立パターン801側面の順テーパ形状を軽減する方向にプロセス条件を補正していくことが可能である。

【0019】また、近年、LSIの配線材料としてCuが採用される傾向があり、エッチングで形成した配線溝にCuを埋め込んで配線を形成するダマシンというプロセスが脚光を浴びている。中でも、図9（a）に示すように、基板900上の絶縁膜901にコンタクト孔902と配線溝903を併せて形成するデュアルダマシンというプロセスが注目されている。このように少し複雑なエッチング後の形状に対しても、図9（b）のようにプロファイル計測できるので、本発明を活用できることは言うまでもない。

【0020】また、前述した実施例では、エッチング処理室502、アッシング処理室503とは別に設けた評価室504内で表面計測を行っているが、表面計測系をこれらの処理室の一方或いは両方に具備させること、或いはバッファ室501内に具備させることも可能であり、これらの表面計測系の結果をもとにインラインでプロセス条件にフィードバックをかけることが可能である。

【0021】

【発明の効果】本発明を用いると、エッチングプロファイルをインラインで、直接モニターしながら、後続の試料に適用するプロセス条件の補正、フィードバック制御を行っているので、高度なプロセス性能を高歩留まりで実現することができる。また、経時変化に因る不具合や突発的な事故が発生しても、後続の試料の処理に対して速やかなプロセス条件の補正、或いは後続処理を中断の判断をエッチング装置が膨大なデータに基づき自動的に行うことができる。また、プロセス条件の最適化についても、エッチング装置だけで、コンピュータの学習を活用して短時間で行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例のエッチング装置を示す構成図である。

【図2】図1の装置における評価室に設けられるセンサの移動領域を示す図である。

【図3】図1の装置におけるエッチング処理室での処理後の試料断面と計測プロファイル結果を示す図である。

【図4】図1の装置におけるバッファ室の概略を示す図

(6) 000-173984 (P2000-173984A)

である。

【図5】本発明の第2の実施例であるエッティング装置の構成図である。

【図6】図5の装置におけるエッティング処理室での処理後の試料断面と計測プロファイル結果を示す図である。

【図7】図5の装置における処理後のコンタクト孔断面と計測プロファイル結果を示す図である。

【図8】図5の装置における処理後の粗密パターン断面と計測プロファイル結果を示す図である。

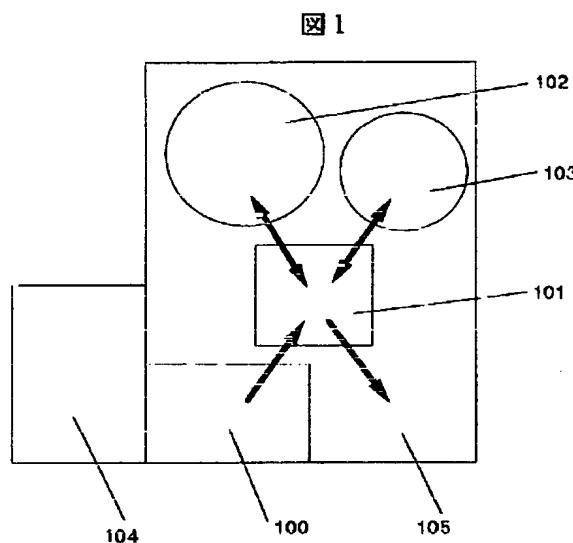
【図9】図5の装置における処理後のダマシン用試料断面と計測プロファイル結果を示す図である。

【符号の説明】

100…ロード室、101…バッファ室、102…エッティング処理室、103…評価室、104…制御用コンピュータ、105…アンロード室

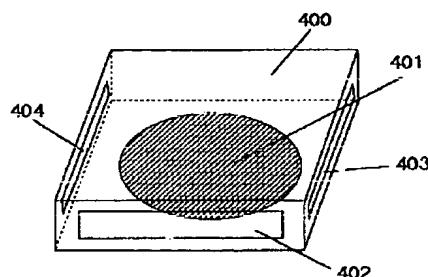
ュータ、105…アンロード室、200…センサ部、201…試料、202…センサ部の可動領域、300…基板、301…第1の絶縁膜、302…第2の絶縁膜マスク、400…バッファ室、401…試料、402…試料の出入口、403…バージガス導入口、404…排気口、500…ロード室、501…バッファ室、502…エッティング処理室、503…アッキング処理室、504…評価室、505…制御用コンピュータ、506…アンロード室、600…基板、601…第1の絶縁膜、700…基板、701…第2の絶縁膜、800…基板、801…孤立パターン、802…密パターン、900…基板、901…絶縁膜、902…コンタクト孔、903…配線溝。

【図1】

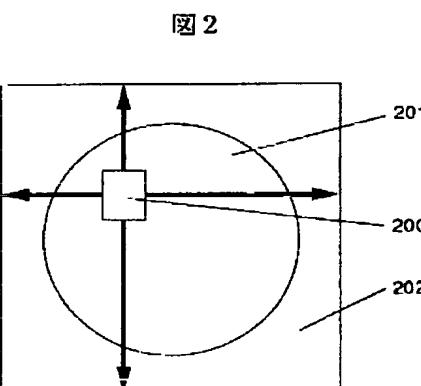


【図4】

図4

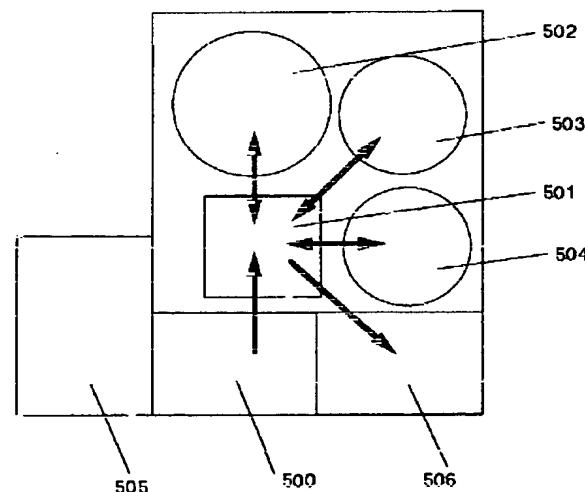


【図2】



【図5】

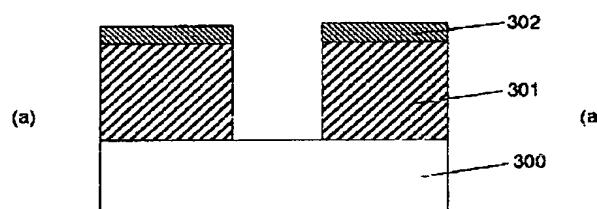
図5



(7) 000-173984 (P2000-173984A)

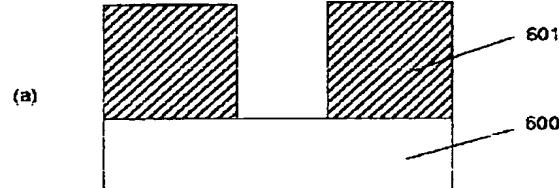
【図3】

図3



【図6】

図6



(b)



(b)



(c)

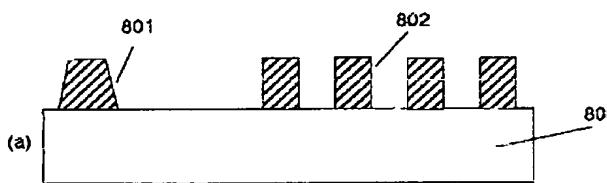


(c)



【図8】

図8



(a)



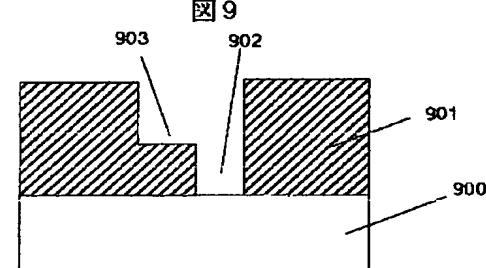
(a)



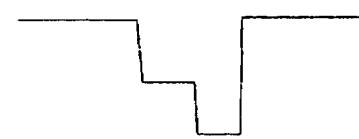
(b)

【図9】

図9



(a)



(b)

(8) 000-173984 (P2000-173984A)

【図7】

図7

